



NARAVOSLOVNOTEHNIŠKA FAKULTETA

ODDELEK ZA TEKSTILSTVO

GRAFIČNA TEHNOLOGIJA

SEMINARSKA NALOGA

ČIŠČENJE ZRAKA V GRAFIČNI INDUSTRIJI



Mentorica: doc. dr. Maja KLANČNIK

Avtorica: Silva GRILJ

Ljubljana, marec 2006

KAZALO

1 UVOD	2
2 RAZLAGA POGOSTO UPORABLJENIH BESED	3
3 TEHNIKE ZA ODSTRANJEVANJE ŠKODLJIVIH SNOVI IZ ZRAKA	4
3.1 Čistilne naprave za odstranjevanje trdnih delcev	5
Usedalne komore	5
Vztrajnostni kolektorji.....	5
Cikloni	6
Filtri – vreče	7
Elektrostatični filtri.....	7
Vlažni kolektorji.....	8
3.2 Čistilne naprave in postopki za odstranjevanje plinskih nečistoč	9
Absorpcija	9
Kondenzacija	9
3.2.1 ADSORPCIJA.....	10
Fizikalna in kemijska adsorpcija	10
Adsorpcijski postopek prečiščevanja zraka v tisku	11
3.2.2 BIOFILTRACIJA.....	14
3.2.3 ZGOREVANJE	16
Neposredno-plamensko zgorevanje.....	16
Termično zgorevanje	16
Katalitično zgorevanje.....	17
4 ZAKLJUČEK	18
5 LITERATURA	19

1 UVOD

Dandanes smo priča vse hujšemu onesnaževanju zraka, ki je posledica predvsem človekovega vpliva na okolje. Velik problem lokalnega onesnaževanja ozračja predstavljajo velika industrijska središča in vele mesta, ki v primeru relativno mirujočih zračnih plasti (kotline) skoraj popolnoma ohromijo samočistilno sposobnost ozračja.

Vse atmosferske polutante lahko razdelimo glede na izvor, kemijsko sestavo in agregatno stanje. Na izvor nastanka posameznih polutantov jih običajno delimo na primarne in sekundarne. Glede na kemijsko sestavo jih delimo na organske in anorganske. Organske sestavine vsebujejo ogljik, vodik, poleg tega pa še dušik, fosfor in žveplo. Aldehidi in ketoni poleg ogljika in vodika vsebujejo še kisik. Ostale organske spojine, ki jih prištevamo med onesnaževalce zraka so še alkoholi, razne kisline, estri in organske spojine žvepla. Med anorganske polutante pa prištevamo ogljikov dioksid, ogljikov monoksid, karbonate, žveplove okside, dušikove okside, ozon, vodikov fluorid in vodikov klorid.

Glede na agregatno stanje delimo posamezne nečistoče na delce, ki so lahko trdni ali kapljeviti in na pline. Polutante v obliki delcev, trdnih ali kapljevitih, predstavljajo prah, saje, leteči pepel, megla ali razna pršila. Večji delci ne predstavljajo večjih težav, saj pod ugodnimi pogoji hitro sedimentirajo iz zraka. Dejansko največ težav povzročajo polutanti v plinasti fazi, katerih ni moč tako enostavno izločiti iz zraka, njihova splošna imisija pa žal nezadržno raste.

2 RAZLAGA POGOSTO UPORABLJENIH BESED

EMISIJA je prehajanje škodljive snovi iz vira onesnaževanja v atmosfero, je pojem onesnaževanja zraka.

POLUTANTI so nečistoče, škodljive snovi, ki same ali skupaj z drugimi snovmi negativno vplivajo na zdravje ljudi, živali in rastlin. So emisije, ki povzročajo obremenjevanje zraka.

PRAH, DIM (prašni delci, saje) nastaja pri gorenju, mletju, drobljenju. Na prašnih delcih se absorbirajo škodljive snovi (plini, hlapi, kovine) in se s prahom vnašajo skozi dihala v organizem. Usedla plast prahu na listih rastlin zmanjšuje fotosintezo.

HLAPNE ORGANSKE SPOJINE (HOS, VOC) ali organska topila s parnim tlakom večjim od 0,01 kPa pri temperaturi 293,15 K (relativno visok parni tlak pri sobni temperaturi). Izhajajo kot nezgorele sestavine pri gorenju naftnih derivatov, iz motorjev z notranjim zgorevanjem in pri izhlapevanju topil, čistil, bencina... So snovi, ki zastrupljajo človeka. Mednje prištevamo goriva (bencin, kerozin) in organska topila, ki se nahajajo v tiskarskih barvah za flekso in globoki tisk, lepilih, čistilih in tiskarskih barvah za ofsetni tisk z vročim sušenjem.

3 TEHNIKE ZA ODSTRANJEVANJE ŠKODLJIVIH SNOVI IZ ZRAKA

Metode in tehnike za zmanjševanje emisij škodljivih snovi v zrak:

- izbira tehnološkega postopka, pri katerem škodljive snovi ne nastajajo ali nastajajo v čim manjši meri
- izbira zaprtega postopka
- izbira postopka pri katerem se škodljive snovi ponovno vračajo v postopek (recikliranje)

Če to ni mogoče, je potrebno škodljive snovi izločiti od tehnološkega zraka ali zraka iz kurilne naprave. Naprave za čiščenje zraka predstavljajo sisteme in postopke izločanja nečistoč iz onesnaženega zraka oz. odpadnih plinov na mestih njihovega izvora. Razdelitev sistemov in naprav izločanja zračnih nečistoč je mogoče razdeliti na več načinov.

1) Razvrstitev čistilnih naprav glede na agregatno stanje nečistoč:

- naprave za izločanje plinastih nečistoč
- naprave za izločanje delcev (trdih in kapljevityh)

2) Neodvisno od oblike nečistoč v zraku čistilne naprave lahko delimo na:

- suhe
- vlažne

3) Z napravami za čiščenje zraka je možno izločanje nečistoč na osnovi:

- fizikalnih postopkov
- kemijskih postopkov
- fizikalno-kemijskih postopkov

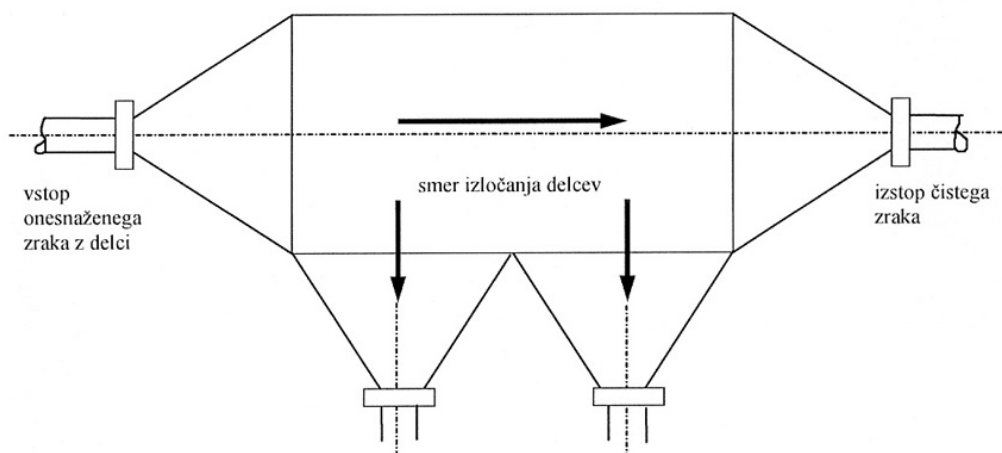
Naprave za izločanje nečistoč v obliki delcev lahko razdelimo glede na sile na osnovi katerih poteka izločanje delcev (glej podpoglavje 3.1). Naprave za izločanje plinastih nečistoč iz odpadnih plinov pa je možno deliti glede na postopek izločanja polutantov (glej podpoglavje 3.2).

3.1 Čistilne naprave za odstranjevanje trdnih delcev

Prah in dim odstranimo na osnovi fizikalnih metod, ki temeljijo na:

- gravitacijski sili (usedalne komore)
- centrifugalni sili (cikloni)
- vztrajnostni sili, zadrževanju in difuziji (vztrajnostni in vlažni kolektorji, filtri)
- elektrostatični sili (elektrostatični filtri)

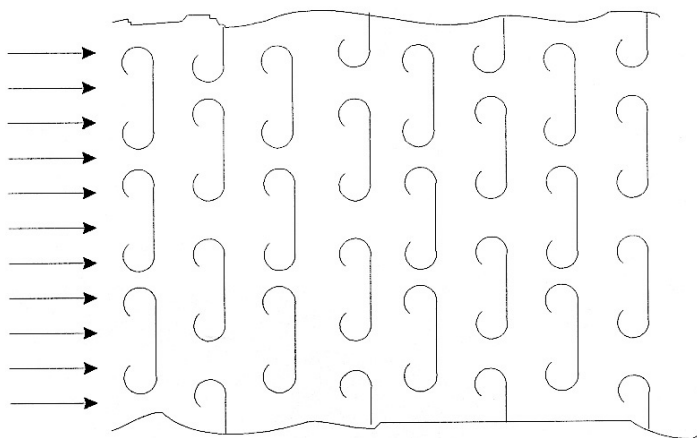
Usedalne komore (gravitacijske ali sedimentacijske komore) so komore, kjer se večji delci ($> 100 \mu\text{m}$) usedajo in se tako odstranijo. Naprava se uporablja le za predhodno čiščenje. Je najstarejša in najpreprostejša tehnika za odstranitev suspendiranih delcev iz zraka, kljub temu pa ni doživela široke uporabnosti na področju čiščenja zraka. Hitrost pretoka onesnaženega zraka. Hitrost pretoka onesnaženega zraka z delci skozi čistilno napravo mora biti zelo mala, da lahko gravitacijske sile posameznih delcev premagajo vztrajnostne sile in s tem povzročijo usedanje delcev. Nizke vrednosti pretočnih hitrosti narekujejo velike dimenzije izločevalnih komor (kar zahteva velik prostor za njihovo namestitve) pri običajno velikih vrednosti pretoka zraka, zato je gravitacijska metoda primerna za izločanje delcev večjih premerov.



Slika 1: Primer gravitacijske komore

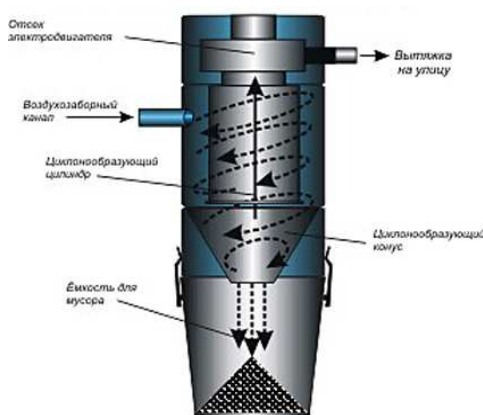
Vztrajnostni kolektorji: delci v zračnem toku zaradi svoje vztrajnosti ne morejo slediti hitrim spremembam smeri toka na vgrajenih ovirah v napravi, zato udarijo v oviro in ob njej padejo na dno naprave. Oblika ovire je odvisna predvsem od vrste delcev (trdi, kapljeviti) in od njihovega premera. Ovire se postavljajo v več vrstah, kar ima za posledico na eni strani nezaželen padec tlaka, po drugi strani pa večji učinek izločanja delcev. Naprave so

konstrukcijsko izredno enostavne in učinkovite. Z njimi je moč izločiti tudi delce manjših dimenzij, uporabimo jih lahko tudi v primeru čiščenja vročih plinov, saj so ovire večinoma narejene iz jekla.



Slika 2: Ovire za izločevanje delcev

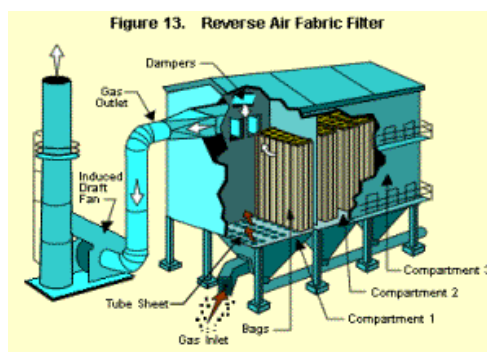
Cikloni (ciklonski kolektor) se veliko uporabljajo v grafični in papirni industriji. Na delce v ciklonu deluje centrifugalna sila, ki povzroča spremembo smeri gibanja delca v zračnem toku iz krožnega v premočrtno. Ciklon je sestavljen iz cilindričnega plašča, stožčastega dela, lijaka za prah in vstopnega dela, kjer je zagotovljen tangencialni vstop s trdnimi delci onesnaženih plinov. Zaradi spiralnega gibanja, ki je posledica geometrije ciklona, delci zadenejo v steno ciklona, se ustavijo in zdrsnejo ob steni v lijak ciklona. Običajno se uporabljajo za predhodno čiščenje zraka, ker odstranijo le večje delce ($> 5 \mu\text{m}$), nato lahko sledi filtriranje. Poleg suhih obstajajo tudi vlažni cikloni, ki lahko izločajo delce dosti manjših premerov, kar omogoča zelo gosta vodna prha.



Slika 3: Leva slika prikazuje notranjost ciklona, desna pa primer večjih ciklonov

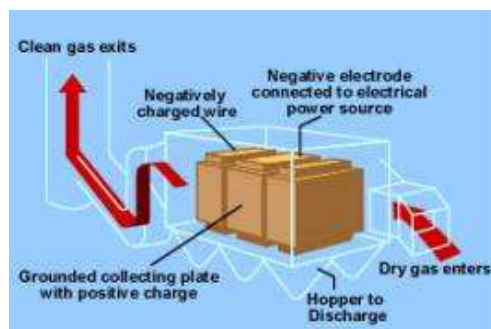
Filtri – vreče imajo enak način delovanja kot sesalci. Zrak prehaja skozi vrečo iz filterske tkanine ali keramičnega filtra. Vreča onemogoča prehod delcem, ki se v vrečah filtra zadržijo in nabirajo. Odvajanje praha iz tovrstnih filtrskih sistemov je v večini primerov popolnoma avtomatizirano. Prah se zbira v posebnih zbiralnikih v obliki lijaka na dnu filterskega ohišja od koder se transportira v posebna zabojnike, ki jih je možno začasno skladiščiti na zato posebej urejenem mestu. V končni fazi pa prah s posebnimi postopki predelamo, tako da ga je možno trajno deponirati.

- **Filtri iz tkanine** so namenjeni izločanju trdnih delcev iz zraka. Izdelani so iz bombaža, volne, stekla in iz različnih sintetičnih vlaken. Pri izbiri tkanine je nujno potrebno poznati temperaturo plinov, njihove kemijske lastnosti in količino delcev vsebovanih v plinu. Največ se uporablja bombažna tkanina, ki je primerna za izločanje delcev od 15 do 20 μm . Vse pogosteje se uporablja steklena vlakna, ki so primerna za izločanje delcev iz plinov višjih temperatur.
- **Keramični filtri** so iz aluminijevega oksida, silicijevega oksida ali silicijevega karbida.
- **Absolutni filtri** ali HEPA filtri imajo filtrirni material iz zelo tankih steklenih vlaken, ki so sprijeta v papirju. Za čim večjo filtrirno površino se filtrirni papir zloži v harmoniko. Uporablja se lahko kot zadnja stopnja čiščenja po elektrostatičnem ali tkaninskem filtru.



Slika 4: Primer delovanja keramičnega ali tkaninskega filtra

Elektrostatični filtri (elektrostatični izločevalci ali kolektorji): tok zraka in trdnih delcev prehaja skozi elektrostatično polje, ki ga ustvarjata katoda in anoda, ki sta priključeni na izvor enosmernega toka visoke napetosti. Predhodno se delci naelektrijo, nato pa jih privlačijo vzporedno nameščene nasprotno naelektrene plošče. Stopnja učinkovitosti izločanja delcev je zelo visoka (99 %) za različne velikosti delcev, pri čemer je izrednega pomena, da je možno izločiti delce zelo majhnih dimenzij (pod 1 μm). Uporabljajo se suhi ali vlažni elektrostatični filtri.

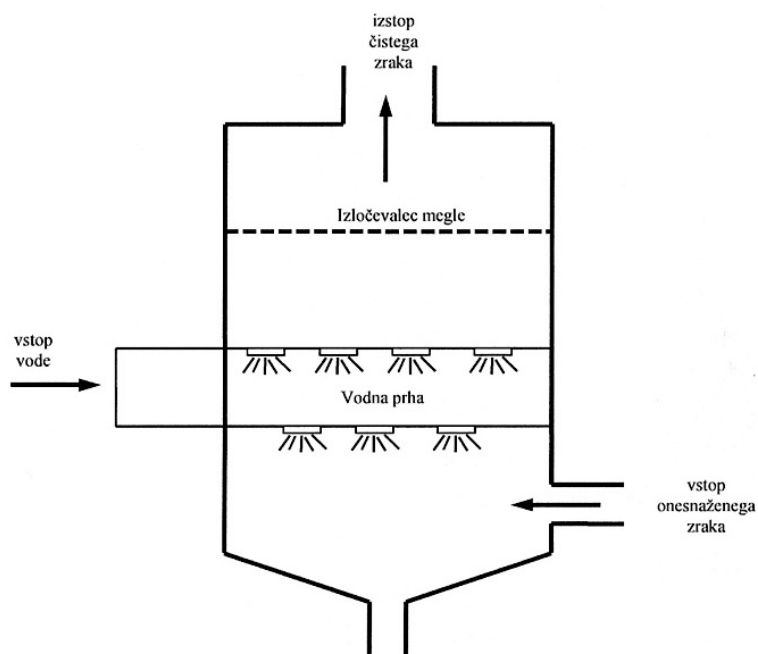


Slika 5: Primer delovanja elektro-filtra

Vlažni kolektorji: delci, ki jih nosi zrak, pridejo v stik s kapljicami vode, zadržijo se na površini kapljic, ki so večje kot sami delci. Vodne kapljice skupaj z vezanimi delci padajo v zbiralnik na dnu izločevalnika. Nastanejo slabo topne oborine, ki jih z usedanjem ali filtriranjem ločimo iz vode. Najbolj razširjene oblike konstrukcij in najcenejši vlažilni kolektorji so tako imenovani vlažilni stolpi, ki so primerni za delce do $10\ \mu\text{m}$.

Prednosti pred suhimi izločevalci delcev: delci iz vročih dimnih plinov se primerno ohladijo, vlažni kolektorji so lahko manjših dimenzij, poleg izločanja delcev prihaja tudi do izločanja nekaterih agresivnih plinov, relativna nizka nabavna cena.

Pomanjkljivosti: večja možnost korozije, delce je potrebno naknadno izločiti iz kapljevine, neugoden hladilni učinek dimnih plinov, pri nizkih temperaturah lahko voda zmrzne.



Slika 6: Primer vlažnega kolektorja

3.2 Čistilne naprave in postopki za odstranjevanje plinskih nečistoč

Pare in pline – hlapne primesi odstranimo z adsorpcijo, absorpcijo, kondenzacijo, kemijsko spremembo (dobro topne snovi v zraku se s kemijsko reakcijo pretvorijo v slabo topne, oborine) ali zgorevanjem.

Absorpcija je volumsko vpijanje, raztapljanje plinov v tekočem absorbentu.

Kot adsorbent v veliki večini primerov uporabljamo vodo, kateri zaradi večje adsorpcijske učinkovitosti dodajamo razne dodatke, ki tvorijo alkalne raztopine. Na primer za izločanje SO_2 iz dimnih plinov lahko uporabljamo vodno raztopino kalcijevega hidroksida $\text{Ca}(\text{OH})_2$, pri čemer nastane trden kalcijev sulfat CaSO_4 (sol). V splošnem izločanje žveplovega dioksida iz dimnih plinov temelji pretežno na absorpcijskih postopkih, ki se med sabo razlikujejo le po izbiri absorbenta.

Lahko se vrši kemijska absorpcija plina v kapljici tekočine, pri čemer pride do kemijske reakcije med reaktanti v vodi in plinom. Tvorijo se trden produkt, ki se lahko odstrani iz dimnega plina s tankim filternim materialom.



Slika 7: Naprava za čiščenje zraka z absorpcijo

Kondenzacija je utekočinjenje, prehajanje iz plinaste v tekočo fazo (npr. z zniževanjem temperature plinov). Lahko se uporablja po absorpciji. Je redko uporabljen postopek.

3.2.1 ADSORPCIJA

Adsorpcija je nabiranje oz. koncentriranje plinaste, tekoče ali raztopljene snovi na površino trdnega telesa ali tekočine. Pri čistilnih napravah je govora o adsorpciji hlapnih snovi na trdni adsorbent.

Adsorbent je snov, ki adsorbira.

Adsorbat je snov, ki se adsorbira na površino.

Adsorpcijski zaboj ali adsorber je prostor v katerem se odvija adsorpcija ali desorpcija. V njem se nahaja adsorbent.

Pri adsorbentu igra pomembno vlogo njegova *specifična površina* in njegova *polarnost*. Večja kot je specifična aktivna površina, bolj ko je porozna, večja je adsorpcijska sposobnost adsorbenta. Specifična površina adsorbenta je realna geometrijska površina vključno z mikroporami, vdolbinicami.

Glede na polarnost adsorbente delimo na:

- **polarni** ali hidrofilni, ki imajo afiniteto do polarnih snovi, dobro adsorbirajo vlago: zeoliti, aluminij (aluminijjevi oksidi in hidroksidi), silika gel
- **nepolarni** ali hidrofobni, ki imajo afiniteto do nepolarnih snovi, adsorbirajo vonj, organska topila: aktivno oglje, polimeri, hidrofobni zeolit
- **kombinacije**: zeolit-aktivno oglje, zeolit-polimer, polimer-aktivno oglje

Aktivno oglje je aktivni ogljik oz. posebno oglje iz katerega je izločena večina ogljikovodikov s čimer se poveča aktivnost adsorbenta. Najpogosteje ga uporabimo za adsorpcijo vonja in različnih čistilnih plinov. Aktivna zemlja je Al_2O_3 , ki ga sušimo s posebnimi postopki, tako da dobi čim bolj porozno strukturo. Silika gel je posebna oblika SiO_2 , ki je zelo porozne strukture. Aktivno zemljo in silika gel najpogosteje uporabimo za adsorpcijo vode.

Adsorbent mora imeti tudi visoko selektivnost, desorpcijske sposobnosti (sposobnost regeneracije), konstantno temperaturo, visoko odpornost proti abraziji...

Fizikalna in kemijska adsorpcija

Razdalja manjša od 0,5 nm povzroči privlačno silo med prosto gibajočimi molekulami in adsorbentom. Molekule se zadržijo na površini – adsorbirajo. Pri adsorpciji nastanejo fizikalne ali kemijske vezi.

Med fizikalne vezi štejemo Van der Waalsove vezi (nepolarne disperzne, polarne) in vodikove vezi. **Fizikalna adsorpcija** poteče hitro, ker sile delujejo na kratki razdalji, pri tem ni potrebna aktivacijska energija. Je reverzibilna, kar pomeni, da je možen tudi obraten proces (desorpcija). Z višanjem temperature se količina adsorbirane snovi zmanjšuje, povečuje se proces desorpcije.

Med kemijske vezi uvrščamo kovalentne, ionske in kovinske vezi. **Kemijska adsorpcija** ali kemijska adsorpcija poteče z zmerno hitrostjo, saj mora biti adsorbat v direktnem stiku z adsorbentom, pri tem se zahteva določena aktivacijska energija. Je ireverzibilna in se z višanjem temperature ne zmanjšuje.

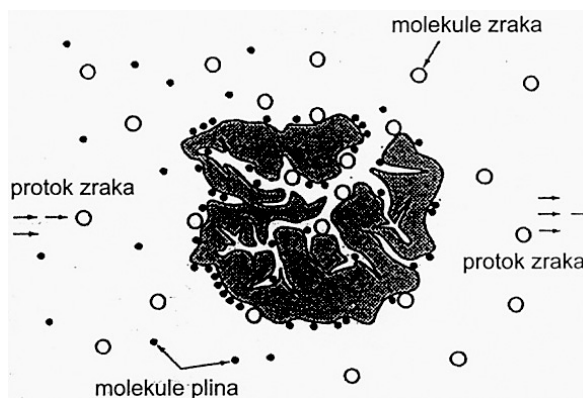
Adsorpcijski postopek prečiščevanja zraka v tisku

Grafična tehnologija je poznana po emisiji izhlapljivih organskih spojin v tisku, predvsem po uporabi barv na osnovi organskih topil.



Slika 8: Naprava za čiščenje zraka z adsorpcijo

Mehanizem adsorpcije se odvija v dveh fazah. Manjši del adsorbata se veže na zunanjo površino adsorbenta, ostale molekule pa prodrejo skozi pore in se vežejo na notranjo površino. Spodnja slika prikazuje primer adsorpcije na aktivno oglje. Aktivno oglje ima zelo razgibano površino z mikroporami, kar omogoča visoko adsorpcijsko sposobnost. Molekule nečistoč prodirajo skozi mikropore, se adsorbirajo in vežejo Van der Waalsove vezi.



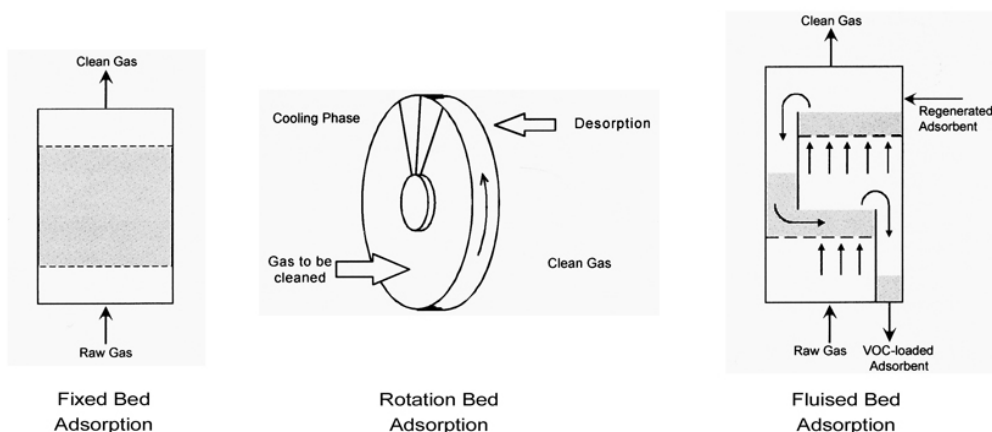
Slika 9: Adsorpcija molekul polutanta na površino aktivnega oglja

Po adsorpciji plinov na adsorbentu lahko sledi **regenerativna adsorpcija**. Najprej poteče desorpcija plinov (HOS) iz adsorbenta:

- termična regeneracija: s paro, vročim zrakom ali vročim inertnim plinom prepihujemo plast adsorbenta, ki se pri tem segreje in tako se HOS desorbirajo ali
- vakuumška regeneracija: z zniževanjem tlaka plasti adsorbenta se pri dani temperaturi pojavi vrenje, HOS se desorbirajo.

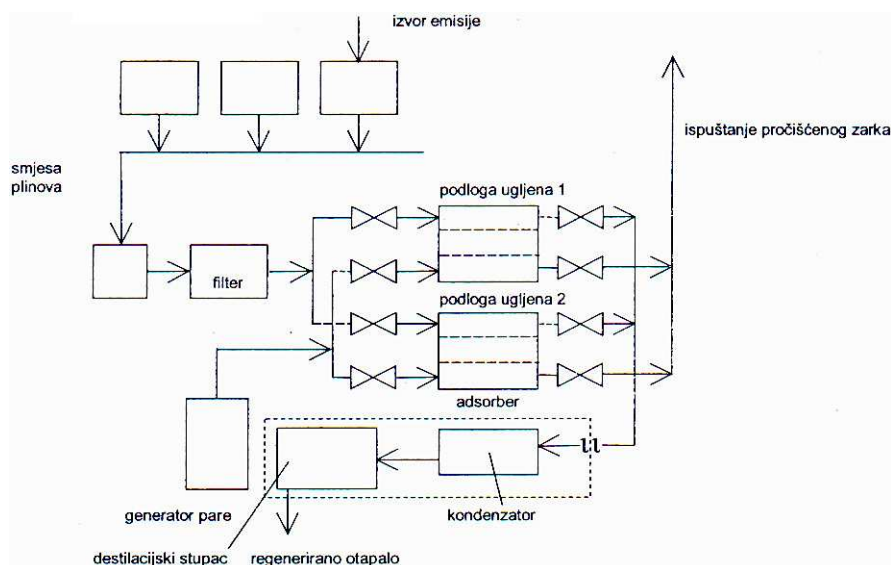
Sledi nadaljnja obdelava sproščenih plinov. V primeru pare ali vakuumške regeneracije se topilo (HOS) ponovno pridobi s kondenzacijo. Plini (HOS) desorbirani z vročim zrakom ali vročim inertnim plinom pa so bolj primerni za naknadno sežiganje.

Da bi se dosegel ekonomičen in učinkovit postopek adsorpcije, je potrebno spremljati naslednje zahteve: pretok zraka, debelino sloja aktivnega oglja, koncentracijo nečistoč in paziti, da ne pride do zasičenja aktivnega oglja. Poznani so trije mehanizmi adsorpcijsko-desorpcijskih ciklusov: mehanizem s statično podlago, z rotirajočo podlago in s fluidizirano podlago.



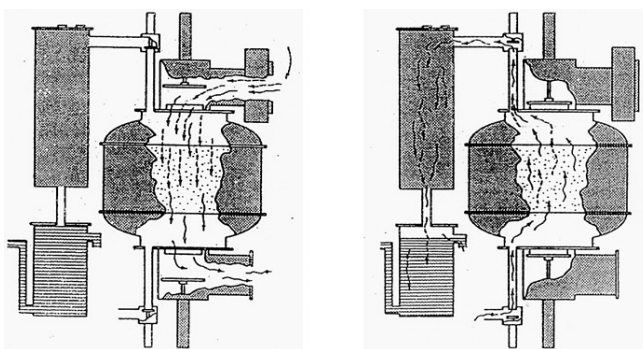
Slika 10: Različni mehanizmi adsorpcije

Mehanizem s statično podlago: Nečist zrak preide čez filter v adsorpcijski zaboj z aktivnim ogljem (sloj aktivnega oglja je približno 1 m). Iz adsorpcijskega zaboja pride očiščen zrak, s koncentracijo manjšo od 150 mg/Nm^3 . V drugem adsorpcijskem zaboju se paralelno odvija postopek desorpcije z vodno paro (130°C) ali inertnim plinom. Sledi faza kondenzacije, nato pa delitev sloja vode in organskih topil. V sloju vode je možen ostanek 0,06 % topila. Postopek se uporablja pri globokem tisku.



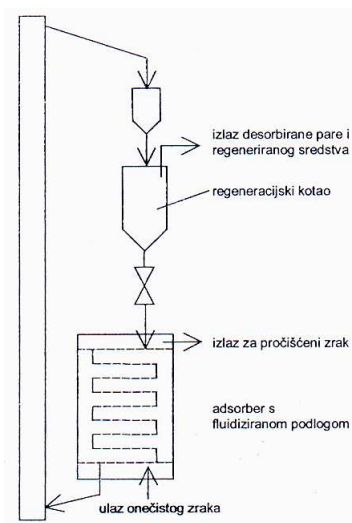
Slika 11: Mehанизem s statično podlago z aktivnim ogljem

Mehanizem z rotirajočo podlago: Tu gre za rotacijski adsorpcijski zaboj s kontinuiranim adsorpcijskim in desorpcijskim postopkom. Nečist zrak gre skozi male delce aktivnega oglja. Dobimo prečiščen zrak. Mehанизem se uporablja na področju globokega tiska in fleksotiska, kjer je pretok nečistega zraka od 17000 do $70000 \text{ Nm}^3/\text{h}$. Primeren je pri tisku embalaže pri količini pretoka nečistega zraka od 50000 do $65000 \text{ Nm}^3/\text{h}$. Prednost tovrstnega postopka pred prvim je v tem, da se nečistoče ne pomešajo z voda in tako ne nastanejo odpadne vode, dobimo izolirane nečistoče.



Slika 12: Rotacijski adsorpcijski zaboj

Mehanizem s fluidizirano podlago: Aktivno oglje kontinuirano kroži skozi cikle adsorpcije in regeneracije. Ko pride do nasičenja aktivnega oglja s polutantom se izvede regeneracija in vrne se v adsorpcijski zaboj, kjer se vlaži z vodno paro. Vodna para fluidizira podlogo.



Slika 13: Shematski prikaz adsorpcijskega zaboja s fluidizirano podlago

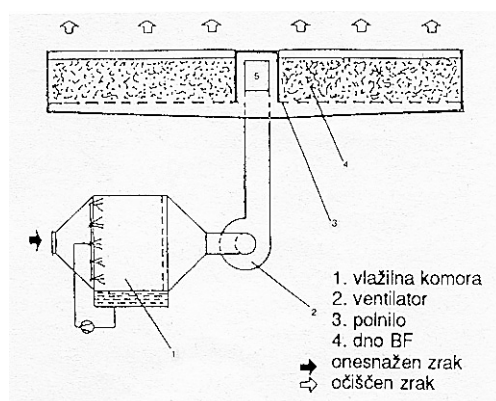
3.2.2 BIOFILTRACIJA

Poznamo fizikalni, kemijski, biološki in kombinirani način odstranjevanja smradu. Od bioloških načinov čiščenja poznamo biofiltre, bioizpiralce in bromembrane. Biofiltracija je razmeroma nova tehnologija pri kateri izkoriščamo biodegradacijske lastnosti mikroorganizmov za čiščenje odpadnega zraka (odstranjevanje plinov, ki povzročajo nepijeten vonj).

Področje uporabe čiščenja zraka z biofiltri se je v zadnjih letih močno razširilo. V 60-ih in 70-ih letih se je uveljavilo predvsem pri odstranjevanju neprijetnih vonjav iz farm, kafilerij in predelovalnih obratov klavniške in mesne industrije v Nemčiji in na Nizozemskem. Dandanes se biofiltri uporabljajo tudi pri odstranjevanju specifičnih organskih (benzen, toluen) in anorganskih snovi v številnih industrijah.

Postopek čiščenja zraka z biofiltri je enostaven za vzdrževanje, istočasno pa tudi cenovno ugoden. Posebnega pomena pri tem je dejstvo, da pri čiščenju onesnaženega zraka ne nastaja nov odpadki in ni potrebno dodajanje kemikalij.

Srce biofiltra predstavlja filterni sloj, ponavadi višine 1 m, ki je vstavljen v betonski bazen. Filterna plast je sestavljena iz dveh ali večjih naravnih materialov. Nosilno strukturo ponavadi predstavljajo veje ali resa, v novejšem času tudi kokosova vlakna, biološko aktivni material pa je šota ali kompost. Onesnažen zrak potuje skozi biofilterno plast, kjer se aerobno razkroji s pomočjo bakterij v CO_2 in H_2O . Žveplove spojine se oksidirajo v sulfat, dušikove v nitrat. Zrak, ki prihaja v biofilter, mora biti primerno vlažen, saj bi v nasprotnem primeru lahko osušil filterni material in s tem povzročil odmiranje organizmov. V ta namen je predvideno vlaženje vstopnega plina z vodo. V poletnih mesecih, ko je nevarnost izsušitve, je potrebno površino biofiltra dodatno pršiti.



Slika 14: Primer delovanja biofiltra

Pomemben faktor je struktura biofilternega materiala, ki mora imeti primerno poroznost. Od luknjičavosti je odvisen zadrževalni čas odpadnega plina in s tem učinkovitost njegovega razkroja. pH vrednost naj bi bila čim bolj konstantna, zato je zaželeno, da filterna plast deluje kot pufer. Mikroorganizmi, ki so naseljeni v plasti, naj bi delovali v čim širšem spektru. Za specifične pline je potrebno filterno plast cepiti s specifičnimi mikroorganizmi. Za doseganje učinkovitega čiščenja morajo biti izpolnjeni še pogoji, ki se nanašajo na substance v odpadnem zraku, vstopajoče v biofilter:

- substanca mora biti topna v vodi
- substanca mora biti biološko razkrojljiva
- temperatura odpadnega zraka mora biti med $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ in $60\text{ }^{\circ}\text{C}$
- relativna vlaga vstopnega zraka mora biti nad 95 %
- odpadni zrak ne sme vsebovati previsokih koncentracij strupenih snovi, ki bi lahko imele za posledico uničenje mikroorganizmov

S časom se biofilterna plast začenja spreminjati in jo je potrebno zamenjati. Mineralizacija organske snovi povzroči zbitost materiala in s tem slabšanje propustnosti, kar se odraža v povišanem pritisku.

Filterni material se spreminja v humus, ki je uporaben za izboljšanje tal v kmetijstvu.

3.2.3 ZGOREVANJE

Zgorevanje ali oksidacija je postopek s katerim gorljive nečistoče (npr. CO, lahke ogljikovodike) iz zraka pretvorimo v CO₂ in H₂O, se pravi škodljive snovi spremenimo v manj škodljive. Pri zagotavljanju učinkovitega procesa zgorevanja je izrednega pomena zadostna količina oksidanta, dovolj visoka temperatura, intenzivnost mešanja gorljivih substanc s kisikom in čas zadrževanja gorljivih nečistoč v coni reakcije. Glede na vsebnost gorljivih plinov v odpadnih plinih ali onesnaženem zraku ločimo tri postopke zgorevanja:

- neposredno-plamensko zgorevanje
- termično zgorevanje
- katalitično zgorevanje

Neposredno-plamensko zgorevanje uporabimo v primeru zadostne koncentracije gorljivih nečistoč v dimnih plinih, pri čemer je pomembno samo vzdrževanje plamena. Odpadne pline, ki vsebujejo nezgorele HC vodimo neposredno v gorilnik, kjer ob dovajanju potrebne količine oksidanta zgorijo brez dodajanja dodatnega goriva. Tovrstni postopek pogosto uporabljajo v naftno predelovalni industriji. Pri uvajanju direktno plamenskega zgorevanja odpadnih plinov moramo posvetiti veliko pozornost nadzoru procesa zgorevanja, kajti v nasprotnem primeru lahko pride do nastanka novih vrst polutantov, ki so značilni za običajne procese zgorevanja (NO_x, SO_x ...).

Termično zgorevanje: V primerih, ko odpadni plin ne vsebuje dovolj gorljivih nečistoč, lahko le te izločimo z uporabo termičnega zgorevanja. Onesnažen zrak se segreje na zelo visoko temperaturo (750-1200 °C). Plini so pri tej temperaturi dovolj dolgo, da polutanti (kot so HOS, vonj) s kisikom oksidirajo do CO₂ in H₂O, N₂, SO_x, HCl.

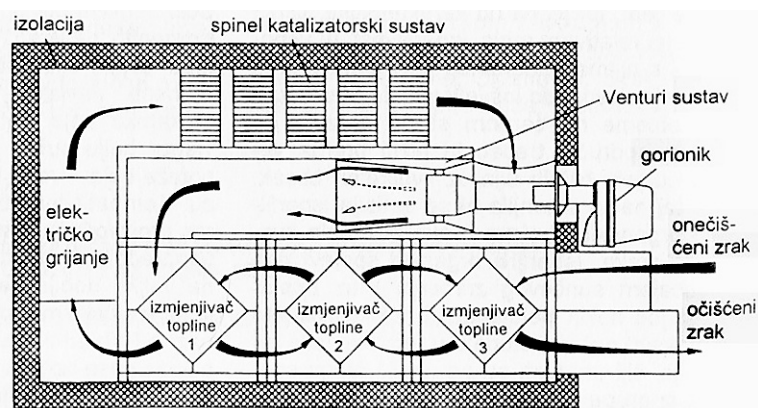
Podvrsta termičnega zgorevanja je tudi **regenerativno termično zgorevanje**. Okolju škodljive substance zgorijo v komori pri 820 °C. Uporabljajo se keramični toplotni izmenjevalci. V

toplotnem izmenjevalcu se zrak segreva s toploto izgorevalnih hlapnih topil in zato se potrebuje le malo zunanje energije (4 %).



Slika 15: Čistilni napravi, ki delujeta na principu termičnega zgorevanja

Katalitično zgorevanje je druga možnost izločanja gorljivih polutantov iz odpadnih plinov v primeru, ko so njihove koncentracije prenizke, da bi bilo možno samo vzdrževanje plamena. Katalizator pospešuje proces oksidacije pri čemer pa sam ni deležen kemijske preobrazbe. Katalitično zgorevanje je bolj uporaben postopek odstranjevanja nečistoč, ker zaradi katalizatorja poteka pri nižjih temperaturah. V splošnem so katalitični konverterji sestavljeni iz pregrevalne komore in katalitične komore. Pri prehodu skozi plamen, kjer se onesnažen zrak segreje na 300-500 °C, prehaja zrak še skozi katalizator, ki pospeši oksidacijo pri nižjih temperaturah. Pri prehodu skozi katalizator je maksimalna temperatura plina od 500-700 °C. Novi nizko temperaturni katalizatorji pa lahko delujejo tudi pri 200-500°C. Katalizatorji so lahko inertne kovine (platina, paladij, rodij) na keramičnem ali kovinskem nosilcu, vendar je izbor ustreznega katalizatorja odvisen od sestave plinov.



Slika 16: Prečiščevanje zraka s katalitičnim zgorevanjem

4 ZAKLJUČEK

Onesnaženje zraka pomeni, da so škodljivi plini, trdne in tekoče snovi v zraku nad dopustnimi mejami. Do onesnaženja zraka lahko pride, če se škodljive odpadne snovi pomešajo z zrakom. Določene kemične spojine, ki jih uporabljamo v vsakdanjem življenju, uničujejo ozon. Ozonska plast vsrkava večino ultravijoličnih žarkov. Znanstveniki so odkrili nevarne ozonske luknje nad Arktiko in Antarktiko.

Poznamo naravne vire onesnaževanja in umetno onesnaževanje. Naravne nečistoče v zraku so anorganske snovi, kot so pesek ali delci prsti, ki jih na primer dvigajo veter, stroji in vozila, ali pa organske snovi, na primer semena in drobci rastlin. Zrak onesnažuje človek s svojo dejavnostjo in z odpadki. Onesnažujejo ga razne industrije, kurišča in avtomobili. Onesnaženi zrak je posledica sodobne civilizacije in ogroža človeka in druga živa bitja. Premogov prah, saje in pepel so najbolj pogosta nečistoča, med plini pa prevladujejo žveplove spojine. Zrak se lahko navzame velike količine teh plinov, ne da bi škodil ljudem, toda pri neugodnih vremenskih razmerah, kot je dolgotrajni gosta megla in toplotnih obratih se koncentracija nečistoče poveča do količin, ki že ogrožajo zdravje. Ugotovili so zvezo med povečano onesnaženostjo zraka (zlasti z žveplom) in naraščanjem obolenj na pljučih. Preprečevanje onesnaženja zraka urejajo posebni zakoni.

Naprave za odstranjevanje prahu in čiščenje plinov temelje na nekaterih fizikalnih pojavih, kot so težnost in centrifugalna sila, izkoriščajo vpliv udarjanja na filtrske materiale, zajemajo navzkrižno brizganje s tekočinami ali trk z navlaženimi ploskvami, pranje in elektrostaticne načine čiščenja. V industriji lahko zadržimo delce, ki jih nosi zrak, in jih bodisi zopet uporabimo v proizvodnji ali pa poskrbimo, da postanejo neškodljivi.

5 LITERATURA

1. KAVČIČ, M. Čiščenje zraka z biofiltrom. *Gospodarjenje z odpadki*, 1992, let. 1, št. 4, str. 19-20.
2. BOLANČA, Z. Značajke i mogućnost primjene adsorpcijskog postupka pročišćavanja zraka u tisku. *Acta graphica*, 2001, let. 13, št. 1-4, str. 47-50.
3. BOLANČA, Z. Pročišćavanje zraka katalitičkim sagorijevanjem. *Acta graphica*, 1996, let. 8, št. 1, str. 40.
4. Zapiski pri predmetu Grafika in ekologija, 2005/06.
5. Zapiski pri predmetu Teorija grafičnih procesov, 2004/05.
6. *Adsorption* [online]. Institut für Industriebetriebslehre und industrielle Produktion, [citirano 25. 2. 2006]. Dostopno na svetovnem spletu: <http://www-iip.wiwi.uni-karlsruhe.de/forschung/technik_html/projekte/abgeschlossen/Platform/website/Guidelines/Abatement/IFARE_adsorption.PDF>.
7. SAMEC, N. *Ekoinženirstvo-GING* [online]. 2005, [citirano 5. 3. 2006]. Dostopno na svetovnem spletu: <http://iepoi.uni-mb.si/samec/Stud_gradivo/ekoinzenirstvo-GING.pdf>.
8. ČETINA, K., RIBIČ, M., ZAVŠNIK A. *Zrak* [online]. Projekt timko [citirano 11. 3. 2006]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www2.arnes.si/~osceifb1s/zrak.htm>>.
9. *Air purification* [online]. Lenntech Water treatment & air purification Holding B.V. [citirano 8. 3. 2006]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.lenntech.com/Air-purification/overview-air-purification.htm>>.
10. *Filtrov.net* [online]. [Citirano 8. 3. 2006]. Dostopno na svetovnem spletu: <http://www.filtrov.net/images/filters_ciklon.jpg>.

11. *Luft. Sauber. Punkt.* [online]. Lufttechnik Bayreuth [citirano 5. 3. 2006]. Dostopno na svetovnem spletu: <www.ltb.de/web/ref.us.22.14.3.html>.
12. *Industrial material and air handling equipment* [online]. Koger Air Corporation [citirano 8. 3. 2006]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.kogerair.com/equip1.html>>.
13. *Adsorption* [online]. ENETEX-KIA. 2003, [citirano 8. 3. 2006]. Dostopno na svetovnem spletu: <http://www.enetex.cz/en/produkty_adab.php>.
14. *LTG Printing Industry Solution* [online]. [Citirano 5. 3. 2006]. Dostopno na svetovnem spletu: <http://www.edie.net/products/view_entry.asp?ID=930>.